Bemerkungen

über das

mechanische Aequivalent der Wärme.

Von

J. R. Mayer.

HEILBRONN UND LEIPZIG,

Verlag von Johann Ulrich Landherr.

1851.

Mayer



Bemerkungen

über das

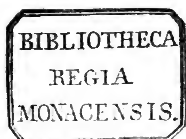
mechanische Aequivalent der Wärme.

Von

J. R. Mayer.



Heilbronn,
Verlag von Johann Ulrich Landherr.
1851.



Vorwort.

Durch die Auffindung des zwischen der Wärme und der Bewegung bestehenden Zusammenhanges gewinnt die Lehre von den Imponderabilien, welche bisher an zahlreichen Verwicklungen und Unklarheiten gelitten hat, eine einfachere Gestaltung, und es wird desshalb auch vorliegende populäre Abhandlung den Freunden einer exacten Naturanschauung willkommen seyn. —

Warum ich mir bei meiner Stellung als praktischer Arzt in dieser wichtigen Sache

mitzureden erlaubt habe, davon ist der Grund in der Schrift selbst angegeben. —

Mögen Sachverständige, welche die Schwierigkeiten kennen, mit denen man beim Bebauen eines neuen Feldes zu kämpfen hat, den Mängeln meiner Arbeiten eine nachsichtige Beurtheilung angedeihen lassen! Ars longa, vita brevis. —

Heilbronn,
im Christmonat 1850.

Der Verfasser.

Das grossartige und weitläufige Gebäude der Erfahrungswissenschaften ist auf einer kleinen Anzahl von Pfeilern errichtet.

Wie die Geschichte lehrt, so hat es Jahrtausende bedurft, bis es dem suchenden Geiste des Menschen gelungen ist, die Grundlagen der Wissenschaften zu finden, auf denen dann in verhältnissmässig kurzer Zeit der Hochbau aufgeführt wurde.

Und doch sind eben diese Fundamental-Sätze von solch' einfacher Klarheit, dass ihre Entdeckung in mehr als einer Beziehung an das Ei des Columbus erinnert.

Wenn wir aber jetzt, wo wir einmal im Besitze der Wahrheit sind, von einer Methode sprechen wollen, durch deren Anwendung die nöthigsten Grundgesetze ohne Zeitverlust hätten aufgefunden werden können, so soll damit keineswegs an die Bestrebungen und Leistungen unserer Vorfahren der Massstab einer leichten Kritik angelegt werden, sondern es wird damit nur beabsichtigt, einen der neuesten Zeit angehörigen Zuwachs unseres Wissens dem Leser auf heuristische Weise vorzuführen.

Die wichtigste, um nicht zu sagen einzige Regel für die ächte Naturforschung ist die: eingedenk zu bleiben, dass es unsere Aufgabe ist, die Erscheinungen kennen zu

lernen, bevor wir nach Erklärungen suchen oder nach höheren Ursachen fragen mögen. Ist einmal eine Thatsache nach allen ihren Seiten hin bekannt, so ist sie eben damit erklärt und die Aufgabe der Wissenschaft ist beendigt.

Mag auch dieser Ausspruch von Einigen für trivial erklärt, von Anderen mit noch so vielen Gründen bekämpft werden, so bleibt doch gewiss, dass diese Grundregel bis auf die neueste Zeit herab nur allzuoft vernachlässigt wird, dass aber alle speculative Operationen selbst der glänzendsten geistigen Capacitäten, die statt von den Thatsachen als solchen Besitz zu ergreifen, sich über dieselben erheben wollten, bis jetzt nur taube Früchte getragen haben.

Von der neueren Naturphilosophie, die durch die ephemere Existenz ihrer Geburten das Urtheil schon in der Gegenwart empfangen hat, soll hier nicht weiter die Rede seyn. Im Alterthume aber hat selbst der grösste und verdienstvollste Naturforscher, um z. B. die Eigenschaften des Hebels zu erklären, seine Zuflucht zu dem Ausspruche genommen: der Kreis sey ein so wunderbares Ding, dass es wohl zu begreifen sey, wie die im Kreise erfolgenden Bewegungen auch ihrerseits die wundervollsten Erscheinungen darbieten! Hätte Aristoteles, statt sein ausserordentliches Talent zu Meditationen über den feststehenden Punkt und die fortschreitende Linie — wie er den Kreis nennt — anzustrengen, die Zahlenverhältnisse untersucht, welche zwischen der Länge der Hebelarme und dem ausgeübten Drucke stattfinden, so hätte er dadurch den Grundstein zu einem wichtigen Theile des menschlichen Wissens gelegt.

Solche Missgriffe, wie sie dem Geiste der damaligen Zeit gemäss auch von einem Manne begangen wurden, der sich durch viele wirkliche Verdienste ein ewiges Denkmal gesetzt

hat, können uns den entgegengesetzten Weg, der sicher zum Ziele führt, zeigen. Wenn aber auch bei der richtigsten Forschungs-Methode ohne Mühe und Fleiss dennoch nichts erreicht werden kann, so ist dies in der göttlichen Weltordnung begründet, nach welcher der Mensch zum Arbeiten erschaffen ist. Gewiss aber ist schon unendlich mehr Material und mehr Mühe dem Irrthume zum Opfer gebracht worden, als die Wahrheit zu ihrer Auffindung bedarf.

Die Regel, nach welcher verfahren werden musste, um die Fundamente der Naturkunde in der denkbar kürzesten Zeit zu legen, lässt sich in wenige Worte fassen. Es müssen nämlich die nächstliegenden und häufigsten Naturerscheinungen mittelst der Sinnwerkzeuge einer sorgfältigen Untersuchung unterworfen werden, die so lange fortzuführen ist, bis aus ihr Grössenbestimmungen, die sich durch Zahlen ausdrücken lassen, hervorgegangen sind.

Diese Zahlen sind die gesuchten Fundamente einer exacten Naturforschung.

Unter allen Natur-Processen ist der freie Fall eines Gewichtes der häufigste, der einfachste und — man denke an *Newton's* Apfel! — zugleich der wichtigste. Wenn man diesen Vorgang auf die angegebene Weise analysirt, so wird man alsbald gewahr, dass das Gewicht um so stärker auf den Boden aufschlägt, je höher es herabgefallen ist, und die Aufgabe besteht nun darin, die zwischen der Fallhöhe, der Fallzeit und der Endgeschwindigkeit stattfindenden Grössenbeziehungen aufzufinden und in bestimmten Zahlen auszudrücken.

Bei Ausführung dieser Experimental-Untersuchung wird man mit verschiedenen Schwierigkeiten zu kämpfen haben,

allein diese müssen und können überwunden werden, und dann gelangt man zu der Wahrheit, dass bei jedem Körper eine Fallhöhe von beiläufig 15′, oder eine Fallzeit von einer Sekunde einer Endgeschwindigkeit von 30′ per Sekunde entspricht. —

Eine zweite, den Fallgesetzen scheinbar zuwiderlaufende, alltägliche Erscheinung ist das Aufsteigen von Flüssigkeiten in Röhren beim Saugen. Auch hier gilt es wieder, sich nicht durch das *velle rerum cognoscere causas* zu nutzlosen und also schädlichen Speculationen über die Qualitäten des Vacuums u. d. gl. in die Irre führen zu lassen; vielmehr müssen wir abermals die Erscheinung als solche mit Aufmerksamkeit und offenen Sinnen untersuchen, und finden dann, sobald wir nur eine Röhre an den Mund setzen, um eine Flüssigkeit zu heben, dass diese Operation von Anfang ganz leicht, dann aber bei grösserer Höhe der Flüssigkeitssäule mit rasch zunehmender Schwierigkeit auszuführen ist. Sollte etwa die Saugwirkung eine messbare Grenze haben? — Sobald wir einmal anfangen, in dieser Richtung zu experimentiren, so kann es uns nicht mehr entgehen, dass es eine Barometer-Höhe gibt, und dass diese circa 28″ beträgt. Diese Zahl ist ein zweiter Hauptpfeiler im Gebäude des menschlichen Wissens. —

Nun reiht sich Frage an Frage, und Antwort an Antwort. Wir haben gelernt, dass der von einer Flüssigkeitssäule ausgeübte Druck proportional ist der Säulenhöhe und dem specifischen Gewichte der Flüssigkeit; hiernach haben wir das specifische Gewicht der Atmosphäre bestimmt und sind durch diese Untersuchung veranlasst worden, unser Messwerkzeug, das Barometer, von der Ebene auf Berge zu tragen, und den Einfluss, den die Erhebung über den Meer-

esspiegel auf den Stand der Quecksilbersäule ausübt, in Zahlen auszudrücken. Durch solche Arbeiten wird uns die Frage nahe gelegt, ob nicht auch die Gesetze des freien Falles, die wir an der Erdoberfläche kennen gelernt haben, in grösseren Entfernungen vom Boden eine Abänderung erleiden? Und wenn, was wir von vorn herein nicht anders erwarten können, dieses wirklich der Fall ist, so fragt es sich weiter, in welcher Weise die oben gefundenen Zahlen durch die Entfernung von der Erde modificirt werden?

Hier sind wir bei einer Aufgabe angelangt, deren Auflösung mit grossen Schwierigkeiten verknüpft ist. Denn es gilt jetzt, an Orten, die kein menschlicher Fuss zu betreten vermag, Beobachtungen anzustellen und Messungen vorzunehmen. Die Geschichte lehrt aber, dass derselbe Mann, der die Frage gestellt hat, auch im Stande gewesen ist, die Antwort zu geben. Freilich konnte er dazu nur durch einen reichen Schatz astronomischer Kenntnisse befähigt werden. Wie aber sollen wir diese erlangen?

Die Astronomie ist ohne Frage schon in ihren Anfangsgründen die schwierigste aller Wissenschaften. Wir haben es hier mit Gegenständen und Räumen zu thun, die jeden Gedanken an ein Experiment verbieten, und dabei sind die verschiedenartigen Bewegungen der zahllosen Himmelskörper so verwickelter Natur, dass die Sternkunde in ihrer herrlichen Entfaltung als der höchste Triumph, den der menschliche Geist hienieden zu feiern vermochte, mit Recht betrachtet wird.

Der natürlichen Regel gemäss, dass der Mensch, wie im Einzelnen so auch im Ganzen, mit dem Leichteren beginnend stufenweise zum Schwereren fortzuschreiten hat, sollte man wohl erwarten, dass die Astronomie später, als

alle anderen Zweige des menschlichen Wissens eine gedeihliche Entwicklung gefunden habe. Bekanntlich verhält sich aber die Sache in der Wirklichkeit umgekehrt, indem gerade in der Astronomie, und nur in dieser, schon die frühesten Völker sich wirklich gute Kenntnisse erworben haben. Ja es darf wohl behauptet werden, dass die Sternkunde diejenige Stufe der Vollkommenheit im Alterthume erreicht hat, die bei dem damaligen Fehlen aller Hilfswissenschaften überhaupt zu erreichen war.

Diese früheintretende, lebenskräftige Entwicklung der Astronomie, die ihrerseits wieder den anderen Wissenschaften vorangehen musste, da sie allein das zu Zeitmessungen nothwendige Material zu liefern vermochte, nehmen wir bei den verschiedensten Völkerstämmen wahr, und es ist dieselbe auch im Wesen der Dinge und in der Natur des menschlichen Geistes begründet. Sie liefert einen merkwürdigen Beleg dafür, dass eine richtige Methodik Hauptbedingung ist für eine gedeihliche wissenschaftliche Forschung.

Der Grund der Erscheinung liegt aber darin, dass das schon sehr frühe empfundene Bedürfniss einer bürgerlichen Zeitrechnung zur Anstellung solcher Beobachtungen nöthigen musste, deren Resultate in bestimmten Zahlen ihren Ausdruck finden. Das Bedürfniss war vorhanden, die Zeit, in welcher die Sonne ihre Wanderung durch den Fixsternhimmel vollbringt, sowie die Zeit, in welcher der Mond seine Phasen durchläuft u. s. w. zu bestimmen. Um diesen Bedürfnissen zu entsprechen, war man nicht der Versuchung ausgesetzt, nach Art der Exegeten und Recensenten das Buch der Natur in die Hand zu nehmen, nur um es zu glossiren.

„Mit eitler Rede wird hier nichts geschafft.“

Zahlen waren es, die man suchte, und Zahlen, die man fand. Durch die überwältigende Macht der Umstände wurde der forschende Geist in die rechte Bahn gedrängt und auf dieser sofort von Erfolg zu Erfolg geführt.

Nachdem nun durch lange fortgesetzte, gute und glückliche Beobachtungen die nöthigen Kenntnisse über den Lauf und die Entfernung der nächsten Himmelskörper, sowie über die Gestalt und Grösse der Erde erworben worden sind, so sind wir in den Stand gesetzt, die Frage, welchen numerischen Einfluss eine zunehmende Entfernung von der Erde auf die bekannten Fallgesetze ausübt, zu behandeln, und so gelangen wir zu der folgewichtigen Entdeckung, dass in der Höhe von einem Erdhalbmesser der Fallraum und die Endgeschwindigkeit für die erste Sekunde viermal kleiner ist, als am Erdboden. —

Kehren wir Behufs der Fortsetzung unserer Untersuchungen zu unserer unmittelbaren Umgebung zurück. — Von jeher mussten die Verbrennungserscheinungen die Aufmerksamkeit der Menschen in besonderem Grade in Anspruch nehmen. Um sie zu erklären, stellten die Alten ihrer naturphilosophischen Methode gemäss ein besonderes, nach oben strebendes Feuerelement auf, das im Bunde mit — und im Gegensatze zu der Luft, dem Wasser und der Erde alles Vorhandene constituiren sollte. Die nothwendige Folge dieser von ihnen mit dem grössten Scharfsinne behandelten Theorie war, dass sie über die betreffenden Erscheinungen und über Alles, was damit zusammenhängt — in vollkommener Unwissenheit geblieben sind.

Auch hier sind es Grössenbestimmungen, Zahlen allein sind es, die uns den Ariadne-Faden in die Hand geben. Wollen wir erfahren, was bei den Feuererscheinungen vorgeht,

so müssen wir die Stoffe vor und nach ihrer Verbrennung wägen, wobei uns die Kenntnisse zu statten kommen, die wir uns oben von dem Gewichte luftförmiger Körper erworben haben. Wir finden dann, dass bei jeder Verbrennung verschiedenartige, zuvor getrennt bestehende Stoffe nach bestimmten Gewichtsverhältnissen in eine innige Verbindung mit einander treten und dass das Gesammtgewicht der Stoffe vor und nach der Vereinigung gleich geblieben ist. Wir lernen die Stoffe in ihren getrennten und in ihren verbundenen Zuständen kennen, wir lernen sie von einem dieser Zustände in den anderen überführen und erfahren, dass z. B. das Wasser aus zwei Luftarten zusammengesetzt ist die sich nach den Verhältnisszahlen = 1 : 8 mit einander verbinden. Dadurch ist uns der Eingang in die Scheidekunst erschlossen, und die Stöchiometrie hängt als eine reife Frucht vor uns. —

Im weiteren Verlaufe unserer Untersuchung haben wir gelernt, dass bei allen chemischen Processen — Verbindungen sowohl, als Trennungen — Temperaturveränderungen statt finden, welche je nach den verschiedenen Umständen von der heftigsten Hitze abwärts alle Grade durchlaufen. Wir haben die entwickelte Wärme ihrer Quantität nach bestimmt oder nach Wärmeeinheiten gezählt und sind so in den Besitz des Gesetzes der chemischen Wärmeentwicklung gelangt. Wir wissen aber längst, dass in einer Unzahl von Fällen Wärme auftritt, wo kein chemischer Process statt findet; so namentlich bei jeder Reibung, beim unelastischen Stosse und beim Zusammendrücken luftförmiger Körper.

Was geht nun bei dieser Art von Wärmeentwicklung vor?

Die Geschichte lehrt, dass auch hier die scharfsinnigsten

Hypothesen von dem Bestande und der Natur eines besonderen Wärme „stoffes“, von einem bald ruhenden, bald schwingenden „Wärme-Aether“, von „Wärme-Atomen“, die in den zwischen den Massen-Atomen befindlichen Räumen ihre Rolle spielen sollten, u. s. w., die Aufgabe nicht zu lösen vermocht haben. Und doch ist dieselbe ihrer Natur nach ebenso wunderbar einfach, als die Gesetze des Hebels, über welche sich der Stifter der peripatetischen Philosophie den Kopf vergebens zerbrochen hat.

Nach dem Vorangegangenen kann der Leser nicht im Zweifel darüber seyn, was hier zu geschehen hat. Es müssen wieder Grössenbestimmungen vorgenommen, es muss gemessen und gezählt werden.

Wenn wir in dieser Richtung vorgehen und die auf mechanischem Wege entwickelte Wärmemenge, sowie die dazu verbrauchte Arbeitskraft messen, und diese Grössen mit einander vergleichen, so finden wir sofort, dass dieselben in der denkbar einfachsten Beziehung, d. h. in einem unveränderlichen, geraden Verhältnisse zu einander stehen, und dass das nämliche Verhältniss auch statt hat, wenn umgekehrt mit Hilfe der Wärme wieder Arbeitskraft erzeugt wird.

Diese Thatsachen in kurze, klare Worte gefasst, sagen wir: Wärme und Bewegung verwandeln sich in einander.

Wir können und dürfen aber hier noch nicht stehen bleiben. Wir müssen wissen, wie viel Arbeitskraft zur Hervorbringung eines vorgeschriebenen Masses von Wärme erforderlich ist, und umgekehrt. Mit anderen Worten: das Gesetz der unveränderlichen Grössenbeziehung zwischen der Bewegung und der Wärme muss auch numerisch ausgedrückt werden.

Indem wir die Erfahrung hierüber befragen, finden wir, dass die Erwärmung von einem Gewichtstheile Wasser um einen Grad der hunderttheiligen Scale der Erhebung von einem gleichen Gewichtstheile auf ungefähr 1200′ Höhe entspricht.

Diese Zahl ist *das mechanische Aequivalent der Wärme.*

Die Erzeugung der Wärme durch die Reibung und durch andere mechanische Processe ist eine fundamentale Thatsache von so universaler Verbreitung, dass ihre wissenschaftliche Feststellung auch ohne eine vorausgeschickte Aufzählung von Nutzanwendungen dem Naturkundigen als werthvoll erscheinen wird, und es werden daher auch einige geschichtliche Bemerkungen über das Thatsächliche der Auffindung des vorliegenden Grundgesetzes hier wohl am Platze seyn.

Im Sommer 1840 machte ich bei Aderlässen, die ich auf Java an neuangekommenen Europäern vornahm, die Beobachtung, dass das aus der Armvene genommene Blut fast ohne Ausnahme eine überraschend hellrothe Färbung zeigte.

Diese Erscheinung fesselte meine volle Aufmerksamkeit. Von der Theorie *Lavoisier's* ausgehend, nach welcher die animalische Wärme das Resultat eines Verbrennungs-Processes ist, betrachtete ich die doppelte Farbenveränderung, welche das Blut in den Haargefässen des kleinen und grossen Kreislaufes erleidet, als ein sinnlich wahrnehmbares Zeichen, als den sichtbaren Reflex einer mit dem Blute vor sich gehenden Oxydation. Zur Erhaltung einer gleichförmigen Temperatur des menschlichen Körpers muss die Wärmeentwicklung in demselben mit seinem Wärmeverluste, also auch mit der Temperatur des umgebenden Mediums

nothwendig in einer Grössenbeziehung stehen *) und es muss daher sowohl die Wärme-Produktion und der Oxydations-Process, als auch der Farbenunterschied beider Blutarten im Ganzen in der heissen Zone geringer seyn, als in kälteren Gegenden.

Dieser Theorie gemäss und unter Berücksichtigung der hieher gehörigen, bekannten physiologischen Thatsachen hat man das Blut als eine langsam brennende, gährende Flüssigkeit zu betrachten, deren Hauptzweck — die Unterhaltung eines Verbrennungs-Processes — erreicht wird, ohne dass die Blutbestandtheile als solche (d. h. mit Ausnahme der Zersetzungs-Produkte) die Gefässhöhle verlassen und mit den Organen in eine materielle Wechselbeziehung, einen Stoffaustausch, treten. Mit anderen Worten heisst dies: die assimilirten Speisen werden ihrem bei weitem grösseren Theile nach zur Erzielung eines physikalischen Effectes in der Gefässhöhle selbst verbrannt, und nur eine vergleichungsweise geringe Quantität derselben dient dem minderwichtigen Zwecke, mittelbar in die Substanz der Organe selbst einzugehen und das Wachsthum und den Wiederersatz abgenützter Festtheile zu bewirken.

Wenn nun hieraus folgt, dass überhaupt im Organismus zwischen Einnahme und Ausgabe, oder zwischen Leistung und Verbrauch eine Bilanz zu ziehen ist, so ist es unverkennbar eine Hauptaufgabe für den Physiologen, das Budget seines Untersuchungs-Objektes so genau als immer möglich kennen zu lernen. Der Verbrauch besteht in dem verbrannten Material, die Leistung ist die Wärmeentwicklung.

---

*) Man vergleiche hierüber auch die interessante Schrift von *Bergmann* „Ueber die Verhältnisse der Wärme-Oekonomie der Thiere zu ihrer Grösse“. Götting. 1848.

Diese letztere geht aber auf zweierlei Weise vor sich, indem der Thierkörper theils Wärme direct in seinem Inneren entwickelt und durch Mittheilung an seine unmittelbare Umgebung wieder absetzt, theils aber auch vermöge seiner Bewegungs-Apparate die Fähigkeit besitzt, Wärme auf mechanischem Wege, durch Reibung u. dgl., selbst an entfernten Orten zu erzeugen. Nun ist zu wissen nöthig,

ob die direct entwickelte Wärme *allein*, oder ob die *Summe* der auf directem und indirectem Wege entwickelten Wärmemengen auf Rechnung des Verbrennungs-Processes zu bringen ist?

Es ist dies eine in das Fundament der Wissenschaft eingreifende Frage, ohne deren sichere Lösung eine gesunde Entwicklung der betreffenden Doctrin unmöglich ist. Denn was es heisst, principielle Grössenbestimmungen zu vernachlässigen, dies wurde oben schon an verschiedenen Beispielen gezeigt. Kein Menschenwitz ist im Stande, für das, was die Natur bietet, Ersatz zu geben.

Die physiologische Verbrennungs-Theorie geht von dem Fundamental-Satze aus, dass die Wärmemenge, welche bei der Verbrennung einer gegebenen Materie entsteht, eine unveränderliche, d. h. eine von den die Verbrennung begleitenden Umständen unabhängige Grösse ist, woraus *in specie* gefolgert wird, dass der chemische Effect der Brennstoffe auch durch den Lebens-Process keine Grössen-Veränderung erleidet, oder dass der lebendige Organismus mit all' seinen Räthseln und Wundern nicht Wärme aus Nichts zu erzeugen vermag.

Hält man aber dieses physiologische Axiom fest, so ist damit bereits auch die Antwort auf die gestellte Frage gegeben. Denn wenn man nicht dem Organismus die Fähigkeit der

Wärmeerschaffung, die ihm so eben abgesprochen worden, gleich wieder zutheilen will, so kann auch nicht angenommen werden, dass die Summe der von ihm producirten Wärme jemals grösser als der stattfindende chemische Effect ausfallen könne. Es bleibt also der Verbrennungs-Theorie, wenn sie sich nicht von vorn herein selbst aufgeben will, nichts übrig, als anzunehmen: dass die gesammte, theils unmittelbar, theils auf mechanischem Wege vom Organismus entwickelte Wärme dem Verbrennungs-Effecte quantitativ entspricht oder gleich ist.

Daraus folgt nun aber mit derselben Nothwendigkeit, dass die vom lebenden Körper erzeugte mechanische Wärme mit der dazu verbrauchten Arbeit in einem unveränderlichen Grössenverhältnisse stehen muss. Denn wenn, je nach der verschiedenen Construction der zur Wärmegewinnung dienenden mechanichen Vorrichtungen u. dgl., durch die nämliche Arbeit und bei gleichbleibendem organischem Verbrennungs-Processe verschieden grosse Wärmemengen erzielt werden könnten, so würde ja die producirte Wärme bei einem und demselben Material-Verbrauche bald kleiner bald grösser ausfallen können, was gegen die Annahme ist. Da aber ferner zwischen der mechanischen Leistung des Thierkörpers und zwischen anderen, anorganischen Arbeitsarten kein qualitativer Unterschied besteht,

so ist folglich eine unveränderliche Grössenbeziehung zwischen der Wärme und der Arbeit ein Postulat der physiologischen Verbrennungs-Theorie.

Indem ich im Allgemeinen die angegebene Richtung einhielt, musste ich also nothwendig mein Hauptaugenmerk zuletzt auf den zwischen der Bewegung und der Wärme

bestehenden physikalischen Zusammenhang richten, wo mir denn die Existenz des mechanischen Aequivalentes der Wärme nicht verborgen bleiben konnte. Wenn ich aber auch diese Entdeckung nur einem Zufalle verdanke, so ist sie doch mein Eigenthum, und ich stehe nicht an, das Recht des Zuerstkommenden zu behaupten.

Um das Entdeckte gegen Eventualitäten sicher zu stellen, fasste ich das Wesentlichste in einem kurzen Aufsatze zusammen, den ich im Frühjahre 1842 an *Liebig* mit der Bitte um Aufnahme in die Annalen der Chemie und Pharmacie sendete, woselbst man ihn auch im XLII. Bd. S. 233, unter dem Titel „Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur“ findet *).

Es war ein günstiger Umstand für mich, dass durch die wohlwollende Aufnahme jenes, mit so tiefer Einsicht begabten Mannes die unscheinbare Arbeit gleich den Eingang in eines der ersten wissenschaftlichen Organe gefunden hat, und ich ergreife diese Gelegenheit, dem grossen Naturforscher meinen Dank und meine Verehrung hiemit öffentlich zu bezeugen.

Liebig hatte aber auch selbst schon um diese Zeit, wenn gleich in mehr allgemeinen, so doch in ganz unzweideutigen Ausdrücken auf den zwischen der Wärme und der Bewegung bestehenden Zusammenhang hingewiesen. Namentlich spricht derselbe aus: die von einer Dampfmaschine gelieferte mechan-

---

*) Folgende Druckfehler sind dort zu verbessern: S. 234, Z. 6, statt: also e, lies: also $\gtrless$ e; ebend. Z. 6 v. u. statt: H + cal. lies: HO + cal. S. 235 Z. 9, statt: Glied, wo Gleichung, lies: Glied einer Gleichung. S. 237 Z. 17, statt: x x, lies: etc.

ische Wärme sey lediglich auf Rechnung des Verbrennungs-Effectes zu setzen, und es könne dieser letztere dadurch, dass mittelst desselben eine mechanische Leistung, und durch diese wieder Wärme gewonnen werde, keine Vergrösserung erfahren!

Aus diesen, wie auch aus ähnlichen Aeusserungen anderer Naturforscher mag man entnehmen, dass die Wissenschaft in neuester Zeit eine Richtung einzuschlagen angefangen hatte, bei welcher jedenfalls die Existenz des mechanischen Aequivalents der Wärme nicht länger mehr verborgen bleiben konnte. —

In dem erwähnten Aufsatze ist das hieher gehörige Naturgesetz auf einige Grundvorstellungen des menschlichen Geistes zurückgeführt worden. Der Satz, dass eine Grösse, die nicht aus Nichts entsteht, auch nicht vernichtet werden kann, ist so einfach und klar, dass gegen seine Richtigkeit wohl so wenig als gegen ein Axiom der Geometrie etwas Begründetes wird eingewendet werden können, und dürfen wir ihn solange als wahr annehmen, als nicht etwa durch eine unzweifelhaft festgestellte Thatsache das Gegentheil erwiesen ist.

Es ist nun ein Erfahrungssatz, dass sowohl die Bewegung, als die Wärme nur unter dem Aufwande eines messbaren Objectes entsteht, und dass in unzähligen Fällen Bewegung verschwindet, ohne dass dabei etwas anderes als Wärme zum Vorschein kommt. Das aufgestellte Axiom fordert also jetzt, dass die verschwindende Bewegung zu Wärme wird, oder dass mit anderen Worten diese beiden Objecte in einer unveränderlichen Grössenbeziehung mit einander stehen. Die Prüfung dieses Satzes auf dem Erfahrungswege, die Feststellung desselben in allen Einzelfällen, der Nachweis

einer zwischen den Denkgesetzen und der objektiven Welt bestehenden vollkommenen Harmonie, ist die interessanteste, aber auch die umfassendste Aufgabe, die sich finden lässt. Was ich mit schwachen Kräften und ohne jegliche Unterstützung und Ermunterung von Aussen in dieser Beziehung geleistet, ist freilich wenig, aber — *ultra posse nemo obligatus.* —

Ueber den genetischen Zusammenhang der Wärme und der bewegenden Kraft habe ich mich a. a. O. S. 238 so ausgesprochen: „Ist es nun ausgemacht, dass für die ver„schwindende Bewegung in vielen Fällen (*exceptio confirmat „regulam*) keine andere Wirkung gefunden werden kann, „als die Wärme, für die entstandene Wärme keine andere „Ursache, als die Bewegung, so ziehen wir die Annahme, „Wärme entsteht aus Bewegung, der Annahme einer Ur„sache ohne Wirkung und einer Wirkung ohne Ursache vor, „wie der Chemiker statt Wasserstoff und Sauerstoff ohne „Nachfrage verschwinden, und Wasser auf unerklärte Weise „entstehen zu lassen, einen Zusammenhang zwischen Was„serstoff und Sauerstoff einer- und Wasser anderseits „statuirt.“

Von hier bis zum Ziele hat man nur noch einen Schritt zu thun. S. 239 heisst es: „Zur Auflösung der zwischen der Fallkraft“ (d. i. Gewichtserhebung) „und Bewegung „statthabenden Gleichungen musste der Fallraum für eine „bestimmte Zeit, z. B. für die erste Secunde durch das „Experiment bestimmt werden; gleichermassen ist zur Auf„lösung der zwischen der Fallkraft und Bewegung einer- „und der Wärme anderseits bestehenden Gleichungen die „Frage zu beantworten, wie gross das einer bestimmten „Menge von Fallkraft oder Bewegung entsprechende Wärme-

„quantum sey. Z. B. wir müssen ausfindig machen, wie „hoch ein bestimmtes Gewicht über den Erdboden erhoben „werden müsse, dass seine Fallkraft äquivalent sey der „Erwärmung eines gleichen Gewichtes Wasser von 0° „auf 1° C.? Dass eine solche Gleichung wirklich in der „Natur begründet sey, kann als das ***Resumé*** des Bisherigen „betrachtet werden.

„Unter Anwendung der aufgestellten Sätze auf die „Wärme- und Volumensverhältnisse der Gasarten findet „man die Senkung einer ein Gas comprimirenden Queck- „silbersäule gleich der durch die Compression entbundenen „Wärmemenge, und es ergiebt sich hieraus — den Ver- „hältnissexponenten der Capacitäten der atmosphärischen „Luft unter gleichem Drucke und unter gleichem Volumen „= 1,421 gesetzt — dass dem Herabsinken eines Gewichts- „theiles von einer Höhe von circa 365 Meter die Erwärmung „eines gleichen Gewichtstheiles Wasser von 0° auf 1° ent- „spreche."

Es ist klar, dass der Ausdruck „äquivalent" hier in ganz anderer Bedeutung, als in der Chemie gebraucht ist. Ein Beispiel wird den Unterschied am deutlichsten machen. Wenn eine gleiche Gewichtsmenge Kali das einemal mit Schwefelsäure, das anderemal mit Salpetersäure neutralisirt wird, so nennt man die Zahlen, welche das Verhältniss ausdrücken, in welchen die absoluten Gewichte dieser drei Stoffe zu einander stehen, die Aequivalente dieser letzteren, wobei aber weder an eine quantitative Gleichheit noch an eine Umwandlung der resp. Stoffe zu denken ist.

Diese besondere Bedeutung, welche das Wort „Aequivalent" in der Chemie hat, hängt wohl damit zusammen, dass es dem Chemiker vergönnt ist, seine Untersuchungs-Objekte

nach einem gemeinschaftlichen Masse, dem absoluten Gewichte quantitativ zu bestimmen. Wir wollen aber annehmen, wir könnten die eine Substanz, z. B. das Wasser, nur nach dem Gewichte, eine andere, das wasserbildende oder Knallgas nur nach dem Volumen messen, und wir hätten uns dahin verständigt, als Gewichts-Einheit 1 ℔, als Volumens-Einheit 1 Kubikfuss zu wählen, so würden wir nun zu untersuchen haben, wie viel Kubikfusse Knallgas aus einem Pfunde Wasser erhalten werden, und umgekehrt, und diese Zahl, ohne welche sich weder eine Wasserbildung, noch eine Wasserzersetzung berechnen liesse, würden wir passend „das Knallgas-Aequivalent des Wassers" nennen können.

In diesem letzteren Sinne kann den bekannten Gesetzen der Mechanik gemäss eine gehobene Last das „Aequivalent" von der Bewegungsgrösse, welche durch das Herabfallen erzielt wird, genannt werden. Um nun diese beiden Objecte, die gehobene und die bewegte Last, welche keine gemeinschaftliche Massbestimmung gestatten, auf einander zu reduciren, dazu ist jene constante Zahl nöthig, die man allgemein mit g bezeichnet; mit dieser Zahl ist aber das mechanische Aequivalent der Wärme, durch welches das zwischen der Wärme und der Bewegung bestehende Verhältniss bestimmt wird, in eine und dieselbe Begriffs-Kategorie zu bringen.

Es ist ferner in der erwähnten Abhandlung der Weg zur Gewinnung eines folgerichtig durchzuführenden und wissenschaftlich haltbaren Begriffes von Kraft angegeben worden, und die Wichtigkeit dieses Gegenstandes veranlasst mich, hier noch einmal auf denselben zurückzukommen.

Das Wort „Kraft“ wird in der wissenschaftlichen oder höheren Mechanik in zwei verschiedenen Bedeutungen gebraucht.

I. Man versteht darunter jeden Druck oder Zug, jedes Bestreben eines trägen Körpers, seinen Zustand der Ruhe oder der Bewegung zu ändern, und wird dieses Bestreben für sich und unabhängig vom Erfolge betrachtet, „Druckkraft“ „Zugkraft“ „Kraft“ kurzweg, auch zur Unterscheidung von dem folgenden Begriffe, „todte Kraft“ genannt.

II. In einem anderen Sinne heisst „Kraft“ das Product des Druckes in den Wirkungsraum, oder auch das — ganze oder halbe — Product der Masse in das Quadrat der Geschwindigkeit. Es ist nämlich zur Entstehung jeder wirklichen Bewegung nothwendig, dass die resp. Masse unter einem Drucke und in der Richtung eines solchen einen gewissen Raum, „den Wirkungsraum“, durchläuft, und es wird nun die der „Druckkraft“ und dem Wirkungsraume proportionale Grösse ebenfalls „Kraft“, aber zur Unterscheidung von der blossen „Druckkraft“, die für sich allein nie eine wirkliche Bewegung zu Stande bringt, „lebendige Kraft der Bewegung“ oder „bewegende Kraft“ genannt.

Mit dem Gattungsbegriffe „Kraft“ beschäftigt sich die höhere Mechanik, als eine wesentlich analytische Wissenschaft, nicht. Um denselben zu finden, müssen nach der allgemeinen Regel die den Arten gemeinschaftlich zukommenden Merkmale zusammengefasst werden. Die Definition, die man auf diese Weise erhält, lautet nun bekanntlich so: „Kraft ist:

„Alles, was eine Bewegung hervorbringt, oder hervor„zubringen strebt, abändert, oder abzuändern strebt.“

Diese Definition ist aber, wie man leicht sieht, eine schwülstige, indem die letzten eilf Wörter derselben gestrichen werden können, ohne dass dadurch der Sinn ein anderer wird.

Dieser Fehler in der Auflösung ist durch die Natur der Aufgabe bedingt, die etwas Unmögliches verlangt. Der blosse Druck (todte Kraft) und das Product des Druckes in den Wirkungsraum (lebendige Kraft) sind allzu ungleichartige Grössen, um in einen Gattungsbegriff vereinigt werden zu können. Der Druck, oder die Anziehung, ist in der Bewegungslehre was die Affinität in der Chemie — ein Abstractum; die lebendige Kraft ist, wie die Materie, ein Concretum, und diese beiden Arten der „Kraft", so nahe sie im Reiche der Ideen-Association beisammen liegen, sind in der Wirklichkeit so weit von einander entfernt, dass der Rahmen, der sie umfasst, die ganze Welt aufzunehmen im Stande wäre.

Eine Abhilfe ist auf mehrfache Weise denkbar. Wie man z. B von einem absoluten, einem specifischen, einem Mischungs-Gewichte spricht, ohne dass es darum Jemanden einfällt, aus diesen verschiedenen Begriffen einen Gattungsbegriff bilden zu wollen, ebenso kann auch das Wort „Kraft" geradezu als ein zwei- und mehrdeutiges gebraucht werden. Es geschieht dies auch wirklich in der höheren Mechanik, und ist daher in dieser Wissenschaft von einem Gattungsbegriffe „Kraft" nicht die Rede.

An Vorschlägen, die Begriffe der „todten" und der „lebendigen Kraft" auf solche Art auch durch die übrige Naturlehre getrennt durchzuführen, hat es nicht gefehlt; allein es haben sich dieselben als unausführbar erwiesen. Denn wenn doppelsinnige Ausdrücke überhaupt nie etwas

zur Deutlichkeit beitragen können, so ist ihr Gebrauch da, wo eine Verwechslung möglich ist, durchaus unstatthaft. Nun läuft freilich der Mathematiker nicht Gefahr, in seinen Rechnungen das Product mit einem seiner Factoren zu verwechseln; allein in anderen Gebieten des Wissens findet in dieser Beziehung eine systematische Begriffsverwirrung statt, und es muss, wenn geholfen werden soll, die Quelle des Irrthums verstopft werden; denn ist das Wort „Kraft" einmal in doppelsinniger Bedeutung zugelassen, so ist es eine Sisyphus-Arbeit, die Unterscheidung in allen Einzelfällen durchführen zu wollen. Um also zu einem Ziele zu gelangen, müssen wir uns entschliessen, auf eine gemeinschaftliche Benennung der sub I u. II aufgeführten Grössen zu verzichten, und das Wort „Kraft" entweder ganz zu vermeiden, oder dasselbe nur für eine dieser beiden Kategorieen zu gebrauchen.

In diesem Sinne hat *Newton* den Begriff von Kraft durchgeführt. Er zerlegt bei Auflösung seiner Probleme das Product der Anziehung in den Wirkungsraum in seine zwei Factoren und nennt den ersten derselben „Kraft".

Dagegen ist aber zu bemerken, dass eine solche Zerlegung des genannten Productes in vielen Fällen nicht ausführbar ist. Nehmen wir z. B. den ganz einfachen Fall, eine anfänglich ruhende Masse M erhalte eine Bewegung mit der (gleichförmigen End-) Geswindigkeit c, so lässt sich aus den bekannten Grössen M u. c zwar auf die Grösse des Productes der Newton'schen Kraft in den Wirkungsraum, nicht aber auf die Grösse dieser Kraft selbst ein Schluss ziehen.

In der That hat sich auch bald das Bedürfniss herausgestellt, dieses Product als ein Ganzes zu behandeln und

zu benennen. Man hat demselben ebenfalls den Namen „Kraft“ gegeben, und die in diesem Sinne gebrauchten Ausdrücke „lebendige Kraft der Bewegung“ „bewegende Kraft“ „Arbeitskraft“ „Pferdekraft“ „Muskelkraft“ u. s. w. sind in der Wissenschaft längst eingebürgert.

So glücklich hier die Wahl dieses Wortes in mancher Hinsicht genannt werden darf, so ist doch zu tadeln, dass man einem bereits bestehenden Kunstausdrucke eine neue Bedeutung zugelegt hat, ohne die frühere zugleich ausser Kurs zu setzen, und es ist dieser Formfehler zur Büchse der Pandora geworden, aus der eine babylonische Sprachverwirrung entsprungen ist.

Unter den obwaltenden Umständen ist nun nichts übrig, als entweder der Newton'schen todten, oder der Leibnitz'schen lebendigen Kraft die Benennung „Kraft“ zu entziehen, wobei man aber in jedem Falle mit dem herrschenden Sprachgebrauche in Conflict geräth.

Sind wir aber einmal entschlossen, in unsere Wissenschaft eine logisch richtige Terminologie, auch auf Kosten des uns durch Angewöhnung bequem und theuer gewordenen Bestehenden, einzuführen, so kann die Wahl, die wir dann zwischen I u. II zu treffen haben, nicht lange zweifelhaft bleiben.

Betrachten wir den elementaren Fall, dass eine anfänglich ruhende Masse Bewegung erhält, so geschieht dies, wie bereits gesagt, so, dass diese Masse einen gewissen Druck oder Zug erleidet, und unter demselben einen gewissen Raum, den Wirkungsraum, durchläuft. Nun ist aber allemal nicht nur die Geschwindigkeit, sondern auch die Druckgrösse (Newton'sche Kraft) in jedem Punkte des Wirkungsraumes eine andere, und es sind, um diese veränderliche Grösse

mit dem Wirkungsraume multipliciren, d. h. um aus der Druckgrösse die Bewegungsgrösse finden zu können, die Hilfsmittel der höheren Mathematik erforderlich.

Daraus folgt aber, dass der Newton'sche Kraftbegriff ausser der Statik, wo der Wirkungsraum null und die Druckgrösse constant ist, nur für die höhere Mechanik passt, und es wäre nun offenbar nicht zweckmässig, den Begriff von „Kraft" so zu wählen, dass derselbe da, wo die Grundbegriffe doch hauptsächlich hingehören, in der elementaren Bewegungslehre, consequenterweise nicht zu gebrauchen ist.

Ganz verkehrt ist es aber, einen Newton'schen Kraftbegriff, nämlich die Schwere, der elementaren Wissenschaft dadurch gerecht machen zu wollen, dass man eine Haupteigenschaft derselben, ihre Abhängigkeit von der Entfernung, auf die Seite setzt, und diese ungenaue und nach Umständen sehr unrichtige, Galilei'sche Schwere zu einer „Kraft" macht. Eine solche ideelle, III[te] Kraft scheint der Mehrzahl Derjenigen, welche über naturwissenschaftliche Gegenstände schreiben, als das Urbild einer „Naturkraft" vorzuschweben.

Grössenbestimmungen, denen nur eine bedingte und annähernde Gültigkeit zukommt, dürfen zur Aufstellung von Definitionen nicht benützt werden. In der Rechnung wird man freilich ganz richtig einen Bogen, der im Verhältnisse zum Halbmesser hinlänglich klein ist, dem Sinus oder der Tangente gleich setzen; wollte man aber auf ein solches Verhältniss Begriffsbestimmungen gründen, so würde man dadurch den Grund zu Inconsequenzen und Irrthümern legen.

Der Newton'sche Kraftbegriff, nach der gebräuchlichen Methode in das Gebiet der elementaren Wissenschaft verpflanzt, ist aber um nichs besser, als der Begriff einer geradlinigen Curve. Die Newton'sche Kraft, die Anziehung, *in specie* die Schwere g, ist gleich dem Differential-Quotienten aus der Zeit in die Geschwindigkeit; es ist also $g = \frac{dc}{dt}$. Dieser Ausdruck ist vollkommen genau, erfordert aber zu seiner Verständniss und Behandlung die höhere Mathematik. Hingegen kann man freilich, wo es sich um Fallräume handelt, die im Vergleiche zum Erdhalbmesser als verschwindend klein betrachtet werden dürfen, ohne erheblichen Rechnungsfehler der eben genannten Gleichung die abgekürzte und höchst bequeme Form $g = \frac{c}{t}$ geben; mathematisch genau ist aber dieser Ausdruck nie, solange nur der Fallraum überhaupt noch eine berechenbare Grösse ist. Und auf Grund solcher principiell unrichtiger Gleichung werden der empfänglichen Jugend die fehlerhaften Begriffe eingepflanzt: von der Schwere, als einer gleichförmig beschleunigenden (?), der Zeit proportional wirkenden (?), bewegenden (?) Kraft; von einer, der erzeugten Geschwindigkeit einfach proportionalen Kraft (?) u. d. gl. m. !

Gewiss wäre es sehr verdienstlich, wenn die Verfasser physikalischer Lehrbücher diesem Uebelstande abhelfen und bei ihren Definitionen nur von völlig exacten Grössenbestimmungen ausgehen wollten; denn die elementare Physik in ihrer jetzigen Gestalt ist keine solide Wissenschaft, sondern eine Halbwisserei, deren Grundbegriffe und Lehrsätze man beim Eintreten in die eigentliche, höhere Wissenschaft so schnell als möglich zu vergessen suchen muss.

Hat man sich einmal durch eine unbefangene Prüfung überzeugt, dass es ausser dem Herkommen nichts für — aber vieles gegen sich hat, den *sub* I aufgeführten Kraftbegriff unter solchem Namen festzuhalten, so ergiebt sich das Uebrige fast von selbst. Den Denkgesetzen, wie dem allgemeinen Sprachgebrauche ist es angemessen, die Entstehung jeder Bewegung mit einem Kraft-*Aufwande* in Verbindung zu bringen. Hienach ist „Kraft“:

Etwas, das bei der Erzeugung der Bewegung aufgewendet wird, und dieses Aufgewendete ist als Ursache der Wirkung, der hervorgebrachten Bewegung, gleich.

Diese Definition entspricht nicht allein den Thatsachen vollkommen, sondern sie schliesst sich auch möglichst dem Bestehenden an, indem sie, wie ich zeigen will, den sub II aufgeführten Kraftbegriff der höheren Mechanik in sich enthält.

Wenn eine anfänglich ruhende Masse, M, während sie unter dem Drucke p (und in der Richtung desselben) den Wirkungsraum s durchläuft, eine Bewegung mit der Geschwindigkeit c erhält, so ist $ps = Mc^2$. Da nun bei der Entstehung jeder Bewegung ein Druck (oder Zug) und ein Wirkungsraum vorhanden ist, und dabei jedesmal wenigstens der eine dieser Factoren, der Wirkungsraum, verausgabt wird, so folgt daraus, dass eine Bewegung nie anders, als auf Kosten eines solchen Productes ins Leben treten kann. Dieses Product $ps = Mc^2$ nenne ich kurzweg eine „Kraft“.

Der Zusammenhang zwischen Verbrauch und Leistung — beziehungsweise die Erschöpfung der Kraft durch die Wirkung — stellt sich am einfachsten bei den Gravitations-Erscheinungen heraus. Es ist die nothwendige Bedingung

jeder Fallbewegung, dass die Schwerpunkte der resp. Massen, der Erde und des fallenden Gewichtes sich näher rücken. Die Annäherung findet aber im Zusammenfallen ihre natürliche Grenze, und es ist also die Erzeugung der Fallbewegung mit einem Verbrauche, beziehungsweise mit der Erschöpfung des gegebenen Fallraumes und eben damit auch des Productes von dem Fallraume und der Anziehung, verknüpft. Das Fallen eines Gewichtes auf die Erde herab ist ein mechanischer Verbindungs-Process; gerade wie nun bei der Verbrennung die Leistungsfähigkeit (d. h. die Bedingung der Wärmeentwicklung) mit der erfolgten Verbindung zu Ende ist, so hört auch mit dem Herabfallen des Gewichtes die Bewegungs-Production auf. Das auf dem festen Erdboden liegende Gewicht ist, wie die gebildete Kohlensäure, nichts weiter als ein *caput mortuum*. Die Affinität, die mechanische wie die chemische, besteht zwar auch nach der Vereinigung fort und setzt der Reduction einen bestimmten Widerstand entgegen; die Leistungsfähigkeit aber ist zu Ende, wenn kein disponibler Fallraum mehr vorhanden ist.

Wo die Anziehung verschwindend klein oder null ist, da ist der Raum kein Wirkungsraum mehr, und es folgt also aus der Abnahme, welche die Schwere in der Entfernung erleidet, dass der Fallraum auch in centrifugaler Richtung eine Grenze hat, und dass mithin die Bewegungsursache, oder die „Kraft“ unter allen Umständen eine endliche, durch ihre Wirkung zu erschöpfende Grösse ist.

Diese physikalische Grundwahrheit wird sich an einem speciellen Falle und durch Zahlen am deutlichsten nachweisen lassen. Wenn ein Pfundgewicht 1′ hoch über den Erdboden erhoben ist, so ist die disponible Kraft bekanntlich = 1 Fusspfund. Beträgt die Fallhöhe dieses Gewichtes *n* Fusse, so

kann, wenn *n* keine grosse Zahl ist, die Kraft annähernd $= n$ Fusspfunde gesetzt werden. Wird aber *n* oder die anfängliche Entfernung des Gewichtes von der Erde, zu einer sehr bedeutenden, beziehungsweise zu einer unendlichen Grösse, so wird dadurch keineswegs die Kraft, (d h. die Anzahl der Fusspfunde) eine unendliche, sondern sie wird dem Newton'schen Gravitations-Gesetze gemäss, höchstens $= r$ Fusspfunde, wo *r* die Anzahl der Fusse, die der Erdhalbmesser hat, bedeutet. Wie gross also auch der Fallraum und die Fallzeit seyn mag, so kann ein Gewicht durch Fallen gegen die Erde keine grössere Endgeschwindigkeit erlangen, als die von 34450 par. Fuss per Sek. Würde dagegen die Erde bei gleichem Volumen 4mal mehr Masse enthalten, so wäre auch die Kraft die 4fache, und die Maximal-Geschwindigkeit wäre = 68900 Fuss.

Durch eine g u t e Terminologie müssen fundamentale Thatsachen solcher Art in's Licht gestellt werden; die gebräuchliche Nomenclatur thut aber davon das Gegentheil. Zum Belege dafür mögen einige Aeusserungen dienen, welche von einem sehr verdienten Naturforscher meiner Auffassungsweise entgegengestellt worden sind.

„Wenn es vollkommen wahr ist“ sagt derselbe „dass in „der Natur keine Bewegung vernichtet werden kann, oder „dass, wie man sich ausdrückt, das Quantum der einmal „vorhandenen Bewegung unverkümmert und unvermindert „bleibt, und wenn in diesem Sinne auch jeder abgeleiteten „Ursache der Charakter der Unzerstörlichkeit zukömmt, so „gehört zu den Charakteren einer primitiven Ursache, d. h. „einer wahren physischen Kraft, noch das Merkmal der „U n e r s c h ö p f l i c h k e i t. Am besten werden sich diese „Merkmale durch die nähere Betrachtung der Schwere

„entwickeln zu lassen, welche die thätigste und am weitesten „verbreitete Naturkraft (primitive Ursache) ist, gleichsam „die Weltseele, welche das Leben der grossen Massen, von „deren Bewegungen die Ordnung des Alls abhängt, unzer„störbar und unerschöpflich unterhält, ohne dass sie von „aussen irgend einer Nahrung bedarf, die ihre Thätigkeit „immer wieder anfacht.“

Soll in diesen Worten ein materieller Widerspruch gegen meine Aufstellung enthalten seyn, so muss durch dieselben gesagt werden wollen, dass die Erdanziehung vermöge ihrer Unerschöpflichkeit unter denkbaren Umständen im Stande sey, einem Gewichte eine unendlich grosse Fallgeschwindigkeit zu ertheilen. Gegen eine solche bestimmte Auffassung legt aber unser Schriftsteller selbst wieder an mehreren Stellen ein (allerdings begründetes) Misstrauen an den Tag, indem er u. a. sagt:

„Wenn wir die Verkettung der Ursachen und Wirk„ungen bis zu ihren ersten Anfängen verfolgen, so gelangen „wir erst zu den wahren Kräften der Natur, zu den primitiven „Ursachen, die zu ihrer Thätigkeit keine andere erfordern, „die ihnen vorangeht, die keine Nahrung erheischen, die „gleichsam aus einem unerschöpflichen Grunde Bewegungen „immer wieder neu anfachen und vorhandene unterhalten „und beschleunigen können.“ Ferner:

„Wenn der Mond jeden Augenblick doch eine gewisse „Strecke wenigstens virtuell gegen die Erde fällt, welches „ist die Kraft, die ihn in jedem folgenden Augenblick „gleichsam von derselben entfernt hat, um eine neue Fall„kraft hervorzurufen? Gerade die Unzerstörbarkeit und „Unerschöpflichkeit, das Vermögen zu allen Zeiten und unter „allen Umständen wenigstens virtuell dieselbe Wirkung un-

„erschöpflich hervorzubringen, macht das Wesen jeder wahren „Kraft gleich primitiver Ursache aus.“

Dieses im entscheidenden Augenblicke jedesmal dazwischentretende „gleichsam“ und „wenigstens virtuell“ gibt der Auslegung Raum, dass unser Schriftsteller seinen „wahren Naturkräften“ die Fähigkeit selbst nicht recht zutraut, eine unerschöpfliche Menge von Bewegung, (von actueller Kraftäusserung) hervorbringen zu können, und das Unbestimmte dieser Aeusserungen ist überhaupt bezeichnend für die Proteus-Rolle, welche die Schwerkraft in den naturwissenschaftlichen Schriften spielt. Man gibt diesem Worte die willkürlichsten Auslegungen, und sucht sich, wo es die Thatsachen nicht mehr anders zulassen, wieder auf den Newton'schen Begriff zurückzuziehen.

Indem man die Schwere eine Kraft nennt, und zugleich mit diesem Ausdrucke dem allgemeinen Sprachgebrauche gemäss die Vorstellung von einem Bewegung-erzeugenden Objecte verbindet, wird man zu der irrigen Annahme geleitet, als ob eine mechanische Leistung — die Entstehung einer Bewegung — ohne einen entsprechenden Aufwand eines messbaren Objectes stattfinden könne, und hier liegt offenbar auch der Grund, warum unser Autor weder mit den Thatsachen, noch mit sich selbst in's Reine kommen konnte. Hat man einmal die Entstehung einer Bewegung aus Nichts statuirt, so muss man folgerichtig auch die Vernichtung einer Bewegung zulassen, und die Grösse der Bewegung muss dieser Annahme gemäss der Geschwindigkeit einfach proportional, oder $= Mc$, und das „Quantum der einmal vorhandenen Bewegung“ $= + Mc - Mc = 0$ gesetzt werden. Der genannte Naturforscher erklärt aber trotz seiner „unerschöpflichen Kräfte“ die Bewegung aus-

drücklich für unzerstörlich; statt sich aber dann darüber auszusprechen, was aus der Bewegung wird, die bei der Reibung verschwindet, sagt er an einer anderen Stelle wieder, es bleibe „unentschieden“, ob die Wirkung der Kraft — die hervorgebrachte Bewegungsgrösse — durch die erste, oder ob sie durch die zweite Potenz der Geschwindigkeit gemessen werde (d. h. ob dieselbe zerstörlich sey oder nicht); ja er scheint wiederholten Aeusserungen nach sogar für möglich zu halten, dass aus einer gegebenen Menge von Wärme Bewegung *in infinitum* entwickelt werden könne! Wenn dem so wäre, dann dürfte freilich an eine Umwandlung dieser Grössen in einander nicht gedacht werden, und es wäre vielmehr für die Contact-Theorie der Boden gewonnen.

Die Polemik meines verehrten Kritikers, den ich hier als den Vertreter herrschender Ansichten redend eingeführt habe, und dem ich mich für die aufmerksame Prüfung meiner ersten Arbeit zu wahrem Danke verpflichtet fühle, scheint mir insofern von vornherein eine verfehlte, als die erste Aufgabe bei Bekämpfung meiner Behauptungen, die sich alle um den einen Punkt einer unveränderlichen Grössenbeziehung zwischen der Wärme und der Bewegung drehen, die seyn musste, nachzuweisen, dass und wo diese Grössenbeziehung eine veränderliche ist. Formelle Controversen ohne materielle Basis schweben in der Luft, und was insbesondere die Kräftefrage anbelangt, so handelt es sich ja zunächst nicht darum, was eine „Kraft“ für ein Ding ist, sondern darum, welches Ding wir „Kraft“ nennen wollen. Ein Hin- und Herreden über die Schwere ist, da alle Sachverständigen über das Wesen derselben einig sind, unfruchtbar; denn die Schwere ist und bleibt ein der anziehenden Masse

direct und dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportionaler Differential-Quotient aus der Zeit in die Geschwindigkeit, und es sind über diesen Punkt die Acten längst geschlossen. Ob es aber zweckmässig ist, diese Grösse eine Kraft zu nennen, das ist eine andere Frage.

Da man, wo es sich um wesentliche Neuerungen handelt, so gerne missverstanden wird, so will ich meine Behauptung, dass der Ausdruck „Schwerkraft" ein unpassender ist, hier nochmals aufs deutlichste motiviren.

Es ist eine unumstössliche Wahrheit, dass die Entstehung jeder Fallbewegung mit dem entsprechenden Aufwande einer messbaren Grösse verbunden ist. Dieser Grösse, wenn sie anders ein Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchung seyn soll — und warum sollte sie es nicht? — muss ein Name werden, und es ist dem Genius der Sprache, dieser Manifestation des logischen Instincts der Menschheit, angemessen, hier kein anderes, als das Wort „Kraft" zu wählen. Da aber dieser Ausdruck bereits in einer ganz anderen Bedeutung gebraucht wird, so könnte man versucht seyn, dem — in der fundamentalen Wissenschaft wenigstens — noch unbenannten Begriffe geradezu einen neuen Namen zu schöpfen. Bevor wir jedoch zu diesem extremen Mittel, das uns aus naheliegenden Gründen mit dem Bestehenden ohnedies am meisten in Conflict bringen würde, greifen, ist es vernunftgemäss, zu untersuchen, ob das, dem vorliegenden Bedürfnisse an und für sich so gut entsprechende Wort „Kraft" dort, wo es die Schule zuerst hingestellt hat, auch am rechten Platze ist.

Dem allgemeinen Sprachgebrauche zu Folge versteht man unter „Kraft" etwas Bewegendes — eine Bewegungsursache — und wenn der Ausdruck „bewegende Kraft" somit eig-

entlich ein Pleonasmus ist, so ist auf der anderen Seite der Begriff von einer nicht bewegenden oder „todten“ Kraft eine *contradictio in adjecto.* Sagt man z. B.: eine Last, die mit ihrem Gewichte auf den Boden drückt, übe dadurch eine Kraft aus — eine Kraft, die, mag sie so gross seyn, als sie will, für sich nicht im Stande ist, die mindeste Bewegung hervorzubringen — so ist eine solche Auffassungs- und Ausdrucksweise zwar eine schulgerechte; sie ist aber so gekünstelt, dass sie die Quelle von unzähligen Missverständnissen wird.

Zwischen der Schwere und der Schwerkraft ist mir kein Unterschied bekannt, und halte ich desshalb den letzteren Ausdruck, weil er schwülstig ist, für unwissenschaftlich.

Man wende mir nicht ein, die Druck„kraft“, Schwer„kraft“, Cohäsions„kraft“ etc. sey die höhere Ursache des Drucks, der Schwere u. s. w. In den exacten Wissenschaften hat man es mit den Erscheinungen selbst, mit messbaren Grössen, zu thun; der Urgrund der Dinge aber ist ein dem Menschenverstande ewig unerforschliches Wesen — die Gottheit, wohingegen „höhere Ursachen“ „übersinnliche Kräfte“ u. d. gl. mit all’ ihren Consequenzen in das illusorische Mittelreich der Naturphilosophie und des Mysticismus gehören.

Vermöge eines überall gültigen Gesetzes geht die Verschwendung Hand in Hand mit dem Mangel. Wenn wir in dem vorliegenden Falle, bei welchem sich diese Regel ebenfalls bewahrheitet, eine Ausgleichung eintreten lassen und das Wort „Kraft“ von da, wo es überflüssig und nachtheilig ist, weg — und dahin bringen, wo es uns fehlt, so

räumen wir dadurch zwei wichtige Hindernisse zugleich weg. Sofort ist der Eingang in die Bewegungslehre nicht erst von den Höhen der Mathematik aus zu erreichen; die Natur stellt sich vielmehr in einfacher Schönheit dem überraschten Auge dar, und selbst der Minderbefähigte vermag viele Gegenstände zu erblicken, die bisher den grössten Gelehrten verborgen geblieben sind. —

Kraft und Materie sind unzerstörliche Objekte. Dies Gesetz, auf das sich die einzelnen Thatsachen am einfachsten zurückführen lassen, und das ich desshalb bildlich den heliocentrischen Standpunkt nennen möchte, ist eine naturgemässe Grundlage für die Physik, Chemie, Physiologie und — Philosophie.

Unter die zwar bekannten, aber bis jetzt nur empirisch constatirten und vereinzelt dastehenden Thatsachen, die sich auf dieses Naturgesetz leicht zurückführen lassen, gehört die, dass die elektrische und magnetische Anziehung so wenig, als die Schwere isolirt werden kann, oder dass die Stärke dieser Anziehungen bei gleich bleibender Entfernung durch die Dazwischenkunft von indifferenten Stoffen, (von Nichtleitern) keine Veränderung erleidet.

Unter den bis auf die neueste Zeit unbekannt gebliebenen Thatsachen will ich nur des Einflusses gedenken, den die Ebbe und Fluth den bekannten Gesetzen der Mechanik gemäss auf die Axendrehung der Erde ausübt. Dass dieser wichtige, mit dem eben genannten Grundgesetze enge zusammenhängende Gegenstand der Aufmerksamkeit der Naturforscher hat entgehen können, ist ein factischer Beweis gegen die ausschliessliche Berechtigung des herrschenden Systems.

Uebrigens wird es denen, welche mit der neueren Literatur vertraut sind *), nicht entgangen seyn, dass sich in der wissenschaftlichen Sprache eine meiner Auffassungsweise günstige Veränderung dermalen vorbereitet. Die Zeit muss aber bei solchen Dingen das Meiste thun. —

Nach dem Bisherigen haben wir die lebendige Kraft der Bewegung eine Kraft zu nennen. Da man aber in der Mechanik unter diesem Ausdrucke ebensowohl eine der Masse und dem Quadrate ihrer Geschwindigkeit, als eine der Masse und der Fallhöhe proportionale Grösse versteht, so zerfällt diese Kraft naturgemäss wieder in zwei sehr leicht von einander zu unterscheidende Arten, wovon jede eines besonderen Kunstausdruckes bedarf, und schienen mir die Worte ***Bewegung*** und ***Fallkraft*** hiezu die passendsten zu seyn.

„Bewegung" ist also dieser Definition nach immer nur eine durch das Product der bewegten Masse in das Quad-

---

*) Dagegen hat die Augsb. Allg. Zeitung in ihrer Beilage vom 21. Mai 1849 eine Warnung vor meinen Arbeiten ergehen lassen. Die Aequivalenz der Wärme und der Bewegung sey, wie es dort heisst, ein durchaus unwissenschaftliches Paradoxon, denn die Wärme habe ja noch nie eine Bewegung, und Bewegung noch nie Wärme hervorgebracht! U. d. gl. m. Der Berichterstatter dieser Zeitung hat nachgehends seine Behauptung in einer Druckschrift wiederrufen und «die Auffindung der sogenannten Aequivalenten-Zahl zwischen mechanischer Kraft und Wärme für eine vollendete Thatsache» erklärt. Was aber die Redaktion der Allgemeinen Zeitung anbelangt, so veranlasst mich das von ihr in dieser Sache beobachtete Verfahren den Wunsch auszusprechen, es möchte dieselbe, wenn sie keine glücklichere Wahl ihrer Correspondenten zu treffen weiss, vor Aufnahme von Artikeln wissenschaftlichen Inhalts wenigstens einen sachverständigen Beirath einholen!

rat der Geschwindigkeit, nicht aber eine durch das Product der Masse in die Geschwindigkeit messbare Grösse.

Unter „Fallkraft“ ist ein gehobenes Gewicht, oder allgemeiner noch, der räumliche Abstand ponderabler Objekte zu verstehen. In vielen Fällen wird die Grösse der Fallkraft hinreichend genau durch das Product der gehobenen Last in ihre Höhe gemessen, und die Ausdrücke „Fusspfund“ „Kilogrammeter“ „Pferdekraft“ u. a. m., sind conventionelle Masseinheiten dieser Kraft, welche insbesondere in der praktischen Mechanik neuerdings allgemein gebraucht werden. Um aber den genauen Massausdruck für die in Rede stehende Grösse zu finden, haben wir uns (zum mindesten) zwei Massen zu denken, welche in einer bestimmten Entfernung von einander sich befinden und durch Annäherung Bewegung erhalten, und es muss nun die Beziehung aufgesucht werden, welche zwischen den Bedingungen der Bewegung, nämlich der Quantität der Massen und ihrer anfänglichen sowohl, als übrigbleibenden Entfernung, und der hervorgebrachten Bewegung existirt.

Merkwürdiger Weise ist diese Beziehung die denkbar einfachste; denn dem Newton'schen Gravitations-Gesetze gemäss ist die entstandene Bewegungsgrösse den Massen und dem Fallraume direct, den beiden Entfernungen der Schwerpunkte aber umgekehrt proportional. D. h. wenn A u. B die beiden Massen, c u. c' ihre erlangten Geschwindigkeiten, h u. h' die erste und die zweite Entfernung, so ist

$$Ac^2 + Bc'^2 = \frac{A.B\ (h - h')}{h\ .\ h'},$$

mit Worten: Die Fallkraft ist gleich dem Producte

der Massen in den Fallraum, dividirt durch die beiden Entfernungen.

Mit Hülfe dieses Satzes, der, wie man leicht sieht, nur ein allgemeinerer und bequemerer Ausdruck des Newton'schen Gravitations-Gesetzes ist *), lassen sich die Gesetze des Falls aus kosmischen Höhen und im allgemeinen auch die Central-Bewegungen entwickeln, ohne dass man dabei über die Gleichungen des zweiten Grades hinauszugehen nöthig hat.

Nachdem wir jetzt zwei Kräftearten, die Bewegung und die Fallkraft, kennen gelernt haben, so können wir der bekannten Regel gemäss den Gattungsbegriff „Kraft" dadurch bilden, dass wir die gemeinschaftlichen Merkmale der beiden Arten zusammenfassen, und haben wir zu dem Ende die Eigenschaften dieser Objecte näher zu betrachten. Die wichtigste derselben beruht auf ihrer gegenseitigen Beziehung. Wo eine gegebene Menge von Fallkraft verschwindet, da entsteht Bewegung, und durch den Aufwand dieser letzteren lässt sich die Fallkraft in ihrer ursprünglichen Grösse wieder herstellen.

Diese, zwischen der Fallkraft und der Bewegung bestehende constante Proportion, welche in der höheren

---

*) Die Newton'sche Formel bezieht sich auf den speciellen Fall, wo die beiden Entfernungen einander gleich sind und daher aus dem Producte derselben ein Quadrat wird. Für diesen Fall wird aber sowohl der Fallraum, als die Geschwindigkeit zu null, und es sind desshalb, wenn man von hier ausgehend reelle Geschwindigkeiten zu berechnen hat, mathematische Kunstgriffe nöthig, welche in der elementaren Wissenschaft nicht angewendet werden dürfen.

Mechanik unter dem Namen „Princip der Erhaltung lebendiger Kräfte“ aufgeführt wird, kann kurz und passend mit dem Ausdrucke „Umwandlung“ bezeichnet werden. Wir können also z. B. sagen: ein Planet, der aus der Sonnenferne in die Sonnennähe gelangt, verwandelt einen Theil seiner Fallkraft in Bewegung, und setzt, während er sich von der Sonne wieder entfernt, einen Theil seiner Bewegung in Fallkraft um. Etwas anderes, als eine constante numerische Beziehung soll und kann hier das Wort „Umwandeln“ nicht ausdrücken.

Die Entstehung einer bestimmten Menge von Bewegung aus einer gegebenen Menge von Fallkraft, und umgekehrt, setzt aber dem S. 20 erwähnten Axiome zu Folge voraus, dass sowohl die Fallkraft, als die Bewegung weder im Ganzen noch einem Theile nach zu Null werden kann. Wir erhalten also folgende Definition:

Kräfte sind wandelbare, unzerstörliche und — zum Unterschiede von den Materien — imponderable Objekte. (Vergl. a. a. O. S. 234.)

Es schliesst diese Definition, wie man leicht sieht, u. a. die Thatsache in sich ein, dass die bei verschiedenen mechanischen Processen verschwindende Bewegung mit der dabei entstehenden Wärme in constanter Proportion steht, oder dass sich die Bewegung, als eine unzerstörliche Grösse, in Wärme verwandeln lässt. Die Wärme ist also wie die Bewegung eine Kraft, die Bewegung wie die Wärme ein Imponderabile.

Die Beziehung, in welcher die Kräfte zu einander stehen, habe ich dadurch charakterisirt, dass ich sie (a. a. O.

S. 235) „verschiedene Erscheinungsformen eines und desselben Objektes“ genannt habe. Dabei habe ich mich aber ausdrücklich gegen die zwar nahe gelegte, aber doch unerwiesene und meiner Ansicht nach zu weit gehende Folgerung erklärt, als ob die Wärmeerscheinungen schlechthin als Bewegungserscheinungen aufzufassen seyen. Es heisst hierüber S. 239:

„So wenig indessen aus dem zwischen Fallkraft und „Bewegung bestehenden Zusammenhange geschlossen werd„en kann: das Wesen der Fallkraft sei Bewegung, so „wenig gilt dieser Schluss für die Wärme. Wir möchten „vielmehr das Gegentheil folgern, dass um zu Wärme werd„en zu können, die Bewegung — sey sie eine einfache „oder eine vibrirende, wie das Licht die strahlende Wärme „etc. — aufhören müsse, Bewegung zu seyn.“

Der Zusammenhang, in welchem, wie wir gesehen haben, die Wärme mit der Bewegung steht, bezieht sich auf die Quantität, nicht auf die Qualität, denn es sind — um mit Euklid zu reden — Gegenstände, die einander gleich sind, sich desshalb noch nicht ähnlich. Hüte man sich, den Boden des Objectiven zu verlassen, wenn man sich nicht in selbstbereitete Schwierigkeiten verwickeln will!

Inzwischen geht wenigstens so viel aus dem Bisherigen hervor, dass es keine specifische Fluida sind, denen die Erscheinungen der Wärme, der Electricität und des Magnetismus ihr Dasein verdanken und es wird somit die schon vor einem halben Jahrhunderte von Rumford behauptete Immaterialität der Wärme durch die Auffindung des mechanischen Aequivalents derselben zur Gewissheit. —

Die Kraftform, welche mit dem Namen „Wärme“ bezeichnet wird, ist offenbar keine einheitliche, vielmehr werden

unter dieser Benennung verschiedenartige, obwohl unter sich äquivalente Objecte zusammengefasst, von denen dem Sprachgebrauche gemäss drei Hauptformen zu unterscheiden sind: nämlich I. die strahlende, II. die freie, specifische, und III. die latente Wärme.

Dass die strahlende Wärme als eine Bewegungserscheinung zu betrachten ist, darüber kann kein Zweifel obwalten; sind doch die Interferenz-Erscheinungen neuerdings auch bei der Wärmestrahlung nachgewiesen worden. Ob es aber, wie man anzunehmen pflegt, wirklich eine specifische Aetherflüssigkeit gibt, die durch ihre vibrirende Bewegung als strahlende Wärme sich manifestirt, oder ob diese Bewegung den Massentheilen der verschiedenen Körper selbst zukommt, dies ist noch nicht ausgemacht.

Noch mehr ist das Wesen der specifischen Wärme, oder das, was im Innern eines erwärmten Körpers vorgeht, in Dunkel gehüllt. Nicht nur dass die ungelöste Aetherfrage hier wiederum eine Rolle spielt, sondern wir müssten auch, um über diesen Gegenstand in's Reine kommen zu können, zuvor eine genaue Kenntniss von dem innersten Wesen der Materien besitzen. Allein dazu fehlt noch viel; denn es ist uns insbesondere unbekannt, ob es Atome gibt, d. h. ob die Materien aus solchen Bestandtheilen zusammengesetzt sind, die bei den chemischen Processen an sich keine Formveränderung mehr erfahren.

Dem Menschen, dem nur eine Spanne von der Zeit, die sich nach rück- und vorwärts in die Ewigkeit fortsetzt, hienieden zugemessen ist, und dessen Fuss nur einen nach oben und unten hin enge abgegrenzten Raum zu betreten vermag, sind auch in seiner wissenschaftlichen Erkenntniss sowohl in der Richtung nach dem unendlich Grossen als dem

unendlich Kleinen hin natürliche Schranken gezogen. Die Atomen-Frage aber führt uns wie mir scheint über diese Schranke hinaus und halte ich sie desswegen für unpraktisch. Ein Atom an sich wird, sowenig als ein Differential, Gegenstand unserer Untersuchung seyn können, obgleich das Verhältniss, in welchem solche unmessbar kleine Hilfsgrössen unter sich stehen, durch concrete Zahlen darstellbar ist. In jedem Falle aber ist der Begriff von einem Atome stets nur relativ aufzufassen und in Beziehung zu einem bestimmten Processe zu denken; denn bei der Bildung und Zersetzung eines Salzes z. B. können bekanntlich die Massentheilchen der Säure und der Basis die Rolle von Atomen spielen, während bei anderen Processen diese Atome selbst wieder der Zerlegung unterliegen.

Angenommen nun — was allerdings u. a. aus den Gesetzen der Isomorphie mit Wahrscheinlichkeit hervorgeht — dass es wirklich in chemischer Beziehung Atome gibt, so wäre die weitere Frage zu beantworten, ob man bei fortgesetzter Theilung der Materie zuletzt auch auf Molecüle gelangt, die in Beziehung auf die Wärmeerscheinungen Atome sind, in deren Inneres die Wärme also nicht zu dringen im Stande wäre, und die bei der Erwärmung des Ganzen eine Volumens-Vermehrung ihrerseits nicht erfahren würden? Da uns die Anhaltspunkte zur Beantwortung solcher nothwendigen Vorfragen fehlen, so sind wir zu dem Ausspruche genöthigt, dass wir uns — ob mit oder ohne Annahme von Aether und Atomen — was das Wesen der specifischen Wärme betrifft, im Zustande des Nichtwissens befinden. —

Der Ausdruck »latente Wärme« bezieht sich auf die richtig erkannte Eigenschaft der Unzerstörlichkeit derselben.

In allen Fällen, wo die thermometrisch-wahrnehmbare, specifische Wärme verschwindet, muss angenommen werden, dass dieselbe nur dadurch der Wahrnehmung sich entzieht, dass sie eine andere Daseynsform annimmt, und dass durch einen geeigneten Rückführungs-Process die freie Wärme in ihrer ursprünglichen Grösse wieder hergestellt werden kann. Dies ist das Thatsächliche der Lehre von der latenten Wärme, und es können also, soferne man sich nur an dieses hält, alle hierher gehörigen Erscheinungen als Belege für das in Rede stehende Princip der Umwandlung und der Erhaltung der Kraft in Anspruch genommen werden.

Der Begriff der latenten Wärme ist hiernach kein anderer, als der, eines der freien Wärme äquivalenten Gegenstandes, und es umfasst also die Lehre von der freien und specifischen Wärme so ziemlich das ganze Gebiet der Physik. Einige aus der Fülle der Thatsachen gewählte Beispiele mögen zeigen, auf welche Weise die Erscheinungen, bei welchen Wärme latent wird, meiner Ansicht nach aufzufassen sind.

Wenn einem unter constantem Drucke befindlichen Gase Wärme zugeführt wird, so wird die freie Wärme des Gases vermehrt, und es wird zugleich eine berechenbare Quantität von Wärme latent; dabei dehnt sich das Gas aus, und dadurch wird eine, der Grösse des Druckes und des zurückgelegten Raumes proportionale Menge von lebendiger Kraft erzeugt. Sobald wir nun wissen, wie viel von der latent gewordenen Wärme auf Rechnung der Ausdehnung des Gases kommt, so kennen wir auch den, der hervorgebrachten lebendigen Kraft entsprechenden Rest der latenten Wärme. Nun hat *Gay-Lussac* durch Versuche bewiesen, dass die specifische Wärme eines Gases, das aus einem Behälter in

einen luftleeren Raum einströmt, keine merkliche Veränderung erfährt. Daraus geht hervor, dass ein gasförmiger Körper dem Auseinanderreissen seiner Massentheile keinen wahrnehmbaren Widerstand entgegensetzt, und dass bei der Verdünnung eines Gases an und für sich, d. h. wenn dieselbe ohne Kraftentwicklung vor sich geht, keine Wärme latent wird. Es ist also die ganze, bei der Ausdehnung eines Gases latent werdende Wärmemenge das Aequivalent für die erzeugte lebendige Kraft.

Aus dem von Niemanden in Zweifel gezogenen Principe der Unzerstörlichkeit der Wärme folgt, dass die auf solche Weise latent gewordene Wärmemenge wieder frei werden muss, wenn mittelst der gewonnenen lebendigen Kraft der Bewegung auf irgend welche Weise Wärme erzeugt wird. Bewegung ist latente Wärme, und Wärme ist latente Bewegung.

Eine specielle Anwendung dieses allgemeinen Satzes ist das berühmte Gesetz von *Dulong*, dass die Wärmemenge, welche man durch das Zusammendrücken von Luftarten erhält, nur von dem Kraftverbrauche und nicht von der chemischen Beschaffenheit, der Spannung und der Temperatur dieser Gase abhängig ist. Dass aber dieses Naturgesetz noch eine viel allgemeinere Giltigkeit hat, und dass die bei der Ausdehnung eines Gases latent werdende Wärmemenge in jedem Falle wieder zum Vorschein kommt, wenn man die gewonnene lebendige Kraft, sey es nun durch Luft-Compression, durch Reibung oder durch unelastischen Stoss, zur Wärmeerzeugung benützt, dies habe ich in dem mehrerwähnten Aufsatze dargelegt, und dort das mechanische Aequivalent der Wärme nach unbestreitbar richtigen Prämissen berechnet. Als Gegenprobe habe ich damals die Wärme

gemessen, die bei der Papierfabrikation in den Holländern erzeugt wird, und dieselbe mit der verbrauchten Arbeitskraft verglichen, wobei sich eine befriedigende Uebereinstimmung herausgestellt hat. Neuerdings ist es mir auch gelungen, zur direkten Bestimmung des mechanischen Aequivalents der Wärme einen sehr einfachen Wärmebewegungsmesser in kleinerem Massstabe zu construiren, mit welchem sich die Richtigkeit des in Rede stehenden Princips *ad oculos* demonstriren lässt, und ich habe Grund zu glauben, dass mittelst eines solchen calorimotorischen Apparates auch der Nutzeffect von Wasserwerken und Dampfmaschinen leicht und vortheilhaft gemessen werden kann. Doch muss es dem künftigen Urtheile der Techniker vorbehalten bleiben, darüber zu entscheiden, ob und wie weit diese Methode vor der Prony'schen den Vorzug verdient. —

Ein Latent-werden von Wärme findet ferner bei gewissen Aggregat-Veränderungen der Körper statt. Da es eine ausgemachte Thatsache ist, dass feste sowohl, als tropfbarflüssige Körper der Trennung ihrer Theile einen gewissen Widerstand entgegensetzen, und da die Beseitigung mechanischer Widerstände im Allgemeinen einen Verbrauch von lebendiger Kraft bedingt, so lässt sich schon *a priori* vermuthen, dass da, wo die Cohäsion eines Körpers vermindert, beziehungsweise aufgehoben wird, Kraft oder Wärme latent werden muss, was bekanntlich mit der Erfahrung gut übereinstimmt.

Von diesem Gesichtspunkte ausgehend, hat der französische Physiker *Person* auf experimentalem Wege nachzuweisen gesucht, dass die latente Schmelzwärme der Metalle, über welche er viele Beobachtungen angestellt hat, mit der

Cohäsion dieser Körper in einem directen Grössenverhältnisse stehen. Es sind aber solche Bestimmungen dermalen mit kaum zu überwindenden Schwierigkeiten verknüpft.

Auf ganz ähnliche Weise hat *Holtzmann* in seiner wichtigen Arbeit „Ueber die Wärme und Elasticität der Gase und Dämpfe“ die bei der Verdampfung des Wassers latent werdende Wärme aufgefasst. Von dem Satze ausgehend, dass das Aequivalent der Temperatur-Erhöhung eine Gewichts-Erhebung sey, berechnet dieser Gelehrte das mechanische Aequivalent der Wärme ebenfalls aus der bei der Ausdehnung eines Gases latent werdenden Wärme und denkt sich die latente Wärme des Dampfes sehr richtig in zwei Theile zerlegt, wovon der eine, kleinere, zur Ueberwindung des entgegenstehenden atmosphärischen Druckes verwendet wird und hiernach mit Hilfe des mechanischen Aequivalents der Wärme leicht bestimmt werden kann; den übrig bleibenden, nun ebenfalls berechenbaren Theil nennt *Holtzmann*: die zur Aufhebung der Cohäsion des Wassers erforderliche Wärme. Diese letztere geht bei allen Dampfmaschinen verloren und *Holtzmann* berechnet aus diesen Prämissen, um wie viel vortheilhafter Hochdruckmaschinen arbeiten, als Niederdruckmaschinen *).

Wenn die eben gegebene Auffassung von der latenten Schmelz- und Verdampfungswärme richtig ist, so muss auch beim Pulverisiren harter Körper ein Latent-werden von Wärme statt finden, und es müssen solche Körper, wenn sie aus dem feinzertheilten in den tropfbarflüssigen Zustand

*) Den grössten Nutzeffect müssen solche Maschinen geben, bei welchen der Dampf während seiner Expansion eine Wärmezufuhr erhält.

übergehen, eine kleinere Menge von Wärme binden, als wenn die Auflösung vom unvertheilten Zustande aus erfolgt. Einige von mir hierüber angestellte Versuche haben mir inzwischen noch kein bestimmtes Resultat gegeben.

Bemerkenswerth ist auch, dass gewisse feste, einer allotropischen Veränderung fähige Körper, z. B. die Sauerstoffverbindungen des Eisens, beim Uebergange aus dem Zustande einer geringeren in den einer grösseren Härte bedeutende Wärmemengen zu entwickeln vermögen. Solche Thatsachen, deren man wohl mit der Zeit eine immer grössere Zahl kennen lernen wird, stimmen mit dem obigen Satze gut überein, dass die Cohäsions-Verminderung mit einem Kraft- oder Wärme-Verbrauche, und die Cohäsionsvermehrung dagegen mit einer Wärme-Erzeugung verknüpft ist.

Der herrschende Sprachgebrauch, welcher die Schwere mit dem Namen einer bewegenden Kraft, die Wärme mit der eines Stoffes bezeichnet, macht, dass einerseits die Bedeutung eines wichtigen Naturgegenstandes, des Fallraumes, dem Bewusstseyn möglichst ferne gerückt wird, und andererseits die Wärme eine von der lebendigen Kraft der Bewegung weit entlegene Stelle erhält. Das wissenschaftliche System wird dadurch zu einem künstlichen, auf dessen zerklüftetem Grunde man sich überall nur mittelst des mächtigen Hilfsmittels der höheren Analysis sicher fortbewegen kann.

Ohne Zweifel ist diesem Uebelstande auch zuzuschreiben, dass der so einfache und nahe liegende Zusammenhang der Wärme und der Bewegung bis auf die neueste Zeit hat verborgen bleiben können. Indessen mussten, wie schon oben angedeutet, die Massbestimmungen der chemischen Wärme-Effecte und der galvanischen Actionen, sowie die im Sinne *Liebig's* über die Lebenserscheinungen angestellten Untersuchungen bald zu dem unschwer aufzufindenden Gesetze von der Aequivalenz der Wärme und der Bewegung führen.

In der That wurde dieses Gesetz und dessen numerischer Ausdruck, das mechanische Aequivalent der Wärme, fast

gleichzeitig in Deutschland und in England veröffentlicht.

Von der Thatsache ausgehend, dass die Grösse des chemischen sowohl, als des galvanischen Effectes einzig und allein von der Grösse des Material-Verbrauches abhängt, wurde der berühmte englische Physiker *Joule* zu dem Satze geführt, dass die Bewegungs- und die Wärmeerscheinungen wesentlich auf einem und demselben Principe beruhen, oder, wie er sich auch gleich mir ausdrückt, dass sich Wärme und Bewegung ineinander verwandeln lassen.

Ausserdem dass diesem Gelehrten die selbstständige Auffindung des genannten Naturgesetzes nicht bestritten werden kann, so hat sich derselbe auch um die weitere Begründung und Entwicklung desselben zahlreiche und wichtige Verdienste erworben. *Joule* hat gezeigt, dass wenn mittelst des Electromagnetismus Bewegung erzeugt wird, der Wärme-Effect des galvanischen Stromes in einem entsprechenden, constanten Verhältnisse sich vermindert. Ferner hat derselbe nachgewiesen, dass durch Umkehren der Pole eines Magnetstabes eine dem Quadrate der magnetischen Spannung proportionale Wärmemenge erzeugt wird, — eine Thatsache, die von mir ebenfalls, jedoch später, aufgefunden worden ist. Insbesondere hat auch *Joule* mittelst zahlreicher Versuche dargethan, dass die unter verschiedenen Umständen durch Reibung entwickelte Wärme mit dem Kraftverbrauche in einem unveränderlichen Verhältnisse steht. Nach seinen neuesten Versuchen dieser Art hat er das mechanische Aequivalent der Wärme = 423 *) gesetzt.

---

*) D. h. 1 Calorie = 423 Kilogrammeter.

Auch hat *Joule* über das hierher gehörige thermische Verhalten elastischer Flüssigkeiten bei der Ausdehnung Experimental-Untersuchungen angestellt und dadurch frühere Angaben anderer Physiker bestätigt. —

Der neue Gegenstand fieng bald an, die Aufmerksamkeit der Gelehrten zu erregen. Da aber derselbe im Aus- und Inlande als eine ausschliesslich fremde Entdeckung abgehandelt wurde, so versetzte mich dies in die Nothwendigkeit, meine auf Priorität sich gründenden Ansprüche geltend zu machen. Denn wenn gleich die von mir veröffentlichten wenigen Arbeiten, die in der Fluth von Druckschriften, welche jeder Tag bringt, fast spurlos verschwunden sind, schon in ihrer Form den Beweis enthalten, dass ich nicht nach Effect hasche, so soll damit doch keineswegs eine Geneigtheit, von dokumentirten Eigenthumsrechten abzugehen, ausgesprochen seyn.

Mit Hülfe des mechanischen Aequivalents der Wärme lassen sich Probleme lösen, welche ohne dasselbe nicht in Angriff genommen werden konnten, und es ist hieher insbesondere die Berechnung des durch den Zusammenstoss kosmischer Massen hervorgebrachten Wärme-Effectes zu zählen, worüber eine kurze Andeutung noch am Platze seyn wird.

Eine Aufgabe dieser Art ist folgende: Angenommen, ein kosmischer Körper tritt mit einer Geschwindigkeit von 4 geogr. Meilen per Sek. in die Atmosphäre unserer Erde ein und verliert durch den hier stattfindenden Widerstand soviel von seiner lebendigen Kraft der Bewegung, dass die Geschwindigkeit, die ihm beim Austreten aus der Atmosphäre übrig geblieben ist, 3 Meilen beträgt, so entsteht die Frage, wie gross ist der bei diesem Vorgange stattfindende Wärme-Effect?

Unter Zugrundelegung des mechanischen Aequivalents der Wärme findet man durch einfache Rechnung, dass die gesuchte Wärmemenge ungefähr 8 mal grösser ist, als die Verbrennungswärme eines gleichen Gewichtes Kohlen, diese zu 6000 Wärmeeinheiten per Kil. gerechnet. Daraus geht hervor, dass die Geschwindigkeit, mit welcher sich die Sternschnuppen und Feuerkugeln bewegen, und die sich

bekanntlich den astronomischen Beobachtungen gemäss auf 4 bis 8 Meilen beläuft, die vollgiltige Bedingung der heftigsten Hitzeentwicklung ist, und es ist uns dadurch eine Einsicht in die Natur dieser merkwürdigen Phänomene eröffnet *).

Eine Aufgabe ähnlicher Art ist ferner folgende: Wenn zwei kosmische Massen, welche im Weltraume um ihren gemeinschaftlichen Schwerpunkt sich bewegen, durch irgend etwas, z. B. durch einen Widerstand des sie umgebenden Mediums veranlasst werden, zusammenzufallen, so wird wieder gefragt, wie gross der Wärme-Effect ist, der diesem mechanischen Verbindungs-Processe entspricht?

Wenn man auch die Elemente der Bahnen — d. h. die Excentricität derselben — nicht kennt, so lässt sich aus dem gegebenen Gewichte und Volumen der resp. Massen doch das Minimum und das Maximum des gesuchten Effectes auffinden. Es möge nun beispielsweise angenommen werden, unsere Erde sey in zwei gleich grosse Kugeln getheilt gewesen, die sich auf die angegebene Weise vereinigt haben, so lehrt die Rechnung, dass hier in jedem Falle bedeutend mehr Wärme entwickelt werden musste, als bei gleichem Gewichts-Verbrauche der intensivste chemische Process zu liefern im Stande gewesen wäre.

Es ist mehr als wahrscheinlich, dass die Erde auf derartige Weise entstanden ist, und dass in Folge dieses Processes unsere Sonne von Fixstern-Entfernung aus gesehen,

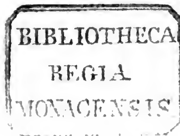
*) Die Ansicht, dass die in Rede stehenden Meteore ihr Licht einem mechanischen Processe — sey es nun der Reibung, oder der Luft-Compression — verdanken, ist nicht neu; es konnte dieselbe aber ohne die Kenntniss des mechanischen Aequivalents der Wärme nicht wissenschaftlich begründet werden.

zu jener Zeit ein vorübergehendes Auflodern ihres Lichtes gezeigt hat. Was aber in unserem Sonnensysteme vielleicht vor Millionen von Jahren stattgefunden hat, dies geht noch gegenwärtig am Fixsternhimmel hie und da vor, und es lassen sich die vorübergehenden Erscheinungen von Sternen, welche z. Thl., wie der berühmte Stern *Tycho's*, mit ausserordentlicher Lichtstärke auftreten, durch die Annahme eines Zusammenfallens vorher unsichtbarer Doppelgestirne auf eine befriedigende Weise erklären.

Solchen explosiven Lichtentwicklungen steht das ruhige Strahlen gegenüber, welches die meisten Fixsterne und darunter auch unsere Sonne durch ungeheure Zeiträume hindurch gleichförmig andauernd zeigen. Begründen nun diese, zu höheren Betrachtungen vorzugsweise einladenden Erscheinungen eine wirkliche Ausnahme von dem nach dem Bisherigen als constatirt zu betrachtenden Naturgesetze der Erschöpfung der Ursache durch die Wirkung, oder ist uns bei der kleinen Summe des menschlichen Wissens erlaubt, auch hier an ein Gleichgewicht zwischen Leistung und Verbrauch zu denken und nach den Bedingungen eines solchen zu forschen?

Ein näheres Eingehen auf diesen Gegenstand würde uns über den Zweck der vorliegenden Abhandlung hinausführen, und so schliesse ich in der Hoffnung, dass es dem Leser gefallen möge, Manches, was in dieser Schrift ungesagt geblieben ist, durch eigenes Nachdenken zu ergänzen. —





Ueber

das mechanische Aequivalent der Wärme.

Von

Dr. **J. R. Mayer** in Heilbronn.

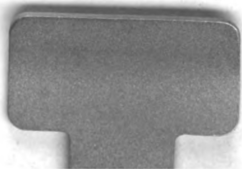
(Aus dem Mai-Hefte des Jahrganges 1851 der Sitzungsberichte der math.-naturwissensch. Classe der kaiserl. Akademie der Wissenschaften besonders abgedruckt.)

„Nachdem ich schon früher *(Compt. rend. de l'Académie des Sciences XXVII, 385 u. XXIX, 534)* nachgewiesen, dass diese Verhältnisszahl zuerst in Deutschland veröffentlicht worden ist, so enthält nun die beiliegende Schrift einiges Nähere über die Veranlassung, welche zu der Auffindung derselben geführt hat.

Von besonderer Wichtigkeit ist die in Rede stehende Lehre von der Umwandlung der mechanischen Kraft in Wärme für die Physiologie, denn sie lehrt uns, dass die Bedingungen der Kraft-Erzeugung dieselben sind, wie die der Wärme-Erzeugung, und dass folglich jedes active Bewegungs-Organ nur durch einen in ihm vor sich gehenden chemischen Process zu seiner Leistung befähigt wird. Es ist nun allerdings nicht zu übersehen, dass durch sorgfältige Erwägung physiologischer Thatsachen schon mehrere Forscher zu der Vermuthung von dem Bestehen eines derartigen Zusammenhanges von Verbrauch und Leistung geführt worden sind, und es ist in dieser Hinsicht namentlich eine Arbeit von Georg Liebig „Ueber die Respiration der Muskeln" in Müller's Archiv für Anatomie und Physiologie, Jahrg. 1850, Heft IV, S. 393, zu erwähnen; allein, erst das mechanische Aequivalent der Wärme verleiht der fraglichen Theorie die physikalische Grundlage und erhebt die Vermuthung zur Gewissheit.

Es sei mir gestattet, an einem speciellen Falle die Richtigkeit dieser Behauptung darzulegen. Die Herzleistung ist bei einem gesunden Manne nach meiner Berechnung (worüber das dritte diessjährige Heft von **Vierordt**'s Archiv für physiologische Heilkunde nähere Angaben bringen wird) beiläufig = $^1/_{125}$ Pferdekraft. Nun entsteht die Frage, welches ist die physikalische Bedingung dieser fortwährenden Krafterzeugung? Das mechanische Aequivalent der Wärme lehrt, dass die genannte Menge von lebendiger Kraft der Bewegung dem Verbrauche von nahe 0·2 Milligrammes Carbone per Secunde entspricht. Wir wissen nun, dass der Herzmuskel durch die Kranzschlagadern mit dem Material zu einem chemischen Processe reichlich gespeist wird, und dass derselbe seine Verrichtung einstellt, sobald diese Zufuhr ausbleibt. Dieser empirisch constatirte Zusammenhang von Leistung und Verbrauch findet aber seinen wissenschaftlich formulirten und numerisch bestimmten Ausdruck in dem Satze: „**dass die Wärme, beziehungsweise der Oxydations-Process, das Aequivalent ist von der mechanischen Kraft.**"





Heilbronn,
Druck der Schell'schen Officin.